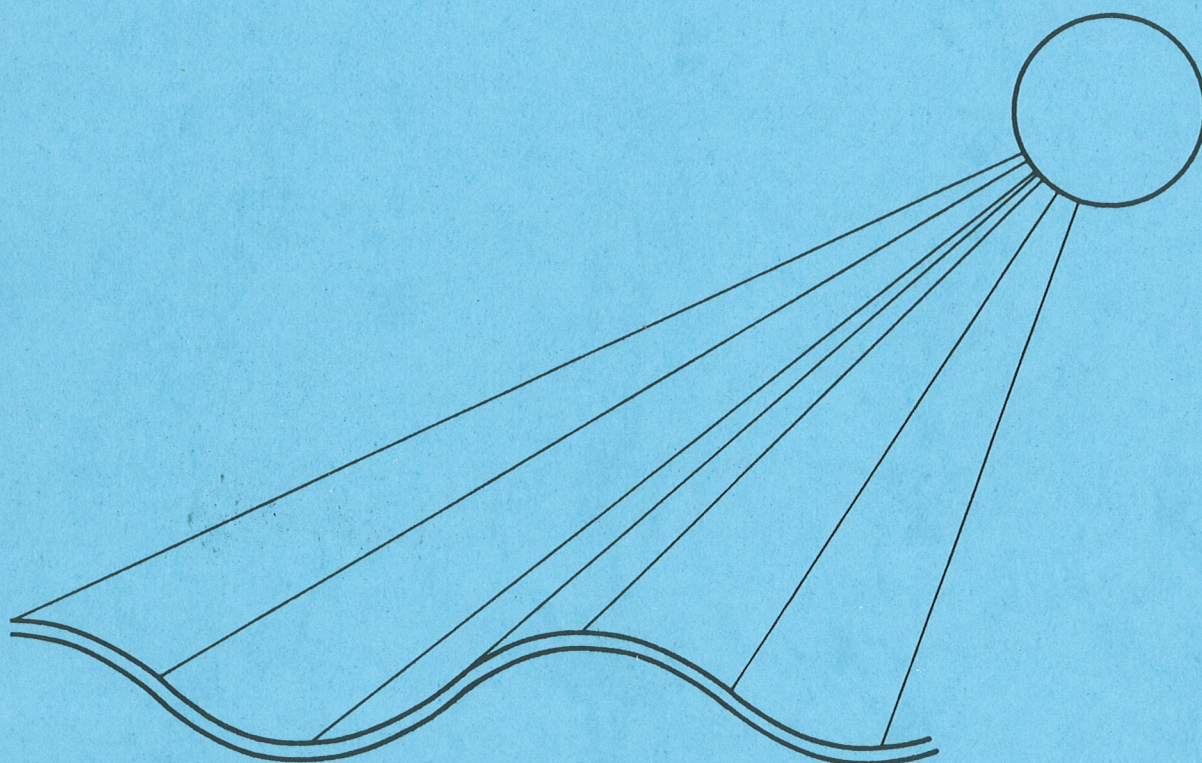


ISSN nr. 0905-1511

## UDVIKLING AF TAGSOLFANGERE



**FINN KRISTIANSEN  
SVEND SVENDSEN**

**MEDDELELSE NR. 215  
LABORATORIET FOR VARMEISOLERING  
DANMARKS TEKNISKE HØJSKOLE**

**SEPTEMBER 1990**



# **UDVIKLING AF TAGSOLFANGERE**

**FINN KRISTIANSEN  
SVEND SVENDSEN**

**MEDDELELSE NR. 215  
LABORATORIET FOR VARMEISOLERING  
DANMARKS TEKNISKE HØJSKOLE**

**SEPTEMBER 1990**



**FORORD**

Denne rapport er afslutningen på projektet "Udvikling af tagsolfanger", som er finansieret af Energistyrelsen under sag nr. 881205.1.

Projektet er gennemført på Laboratoriet for Varmeisolering, DTH, med deltagelse af nedenstående medarbejdere:

Finn Kristiansen, civilingeniør,  
Svend Aage Svendsen, lektor,  
Martin Dandanell, maskinarbejder,  
Bodil Fauerskov, sekretær,  
Sally Lykke Høgsted, programmør.



## INDHOLDSFORTEGNELSE

FORORD	1
RESUMÉ	5
SUMMARY	6
1. INDLEDNING	7
2. DET TRANSPARENTE DÆKLAGE	9
3. DÆKLAGEKONSTRUKTIONER	13
3.1 Udformning fra BATEC	13
3.2 Udformning 1 fra LfV	16
3.3 Udformning 2 fra LfV	17
4. PRØVNING AF DÆKLAGEKONSTRUKTIONER	19
4.1 BATEC	19
4.2 LfV 1	20
4.3 LfV 2 (uden stålplade)	21
5. TAGSOLFANGERNE	23
5.1 BATEC-Solfangeren	23
5.2 LfV-Solfangeren	25
6. MÅLINGER OG RESULTAT FOR TAGSOLFANGERNE	27
6.1 Effektivitet for solfangerne	27
6.2 Acrylpladetemperatur	29
6.3 Holdbarhed	29
7. PRIS FOR TAGSOLFANGER	31
7.1 Sammenligning	32
7.2 Sammenligning af pris	33
8. KONKLUSION	35
APPENDIX A	37
APPENDIX B	39
APPENDIX C	43



## RESUMÉ

Forskellige forslag til dæklagskonstruktioner er udformet med udgangspunkt i en bølge-acrylplade. Forslagene er indledningsvis undersøgt mht. mekanisk styrke.

To dæklagskonstruktioner - én fra BATEC og én fra LfV - er fundet tilfredsstillende, og to solfangere på ca. 13 m<sup>2</sup> er opbygget på en undendørs prøvestand.

Der er udført udendørs effektivitetsmålinger af de to solfangere. Resultaterne, der er vist på figur 0.1, er på højde med tilsvarende solfangerelementer med glas som dæklag.

Solfangerne har været udsat for stagnation, og det har vist sig, at de termiske udvidelser af dæklaget uhindret har kunnet finde sted. Sluttelig er et overslag på prisen for tagsolfangeren angivet.

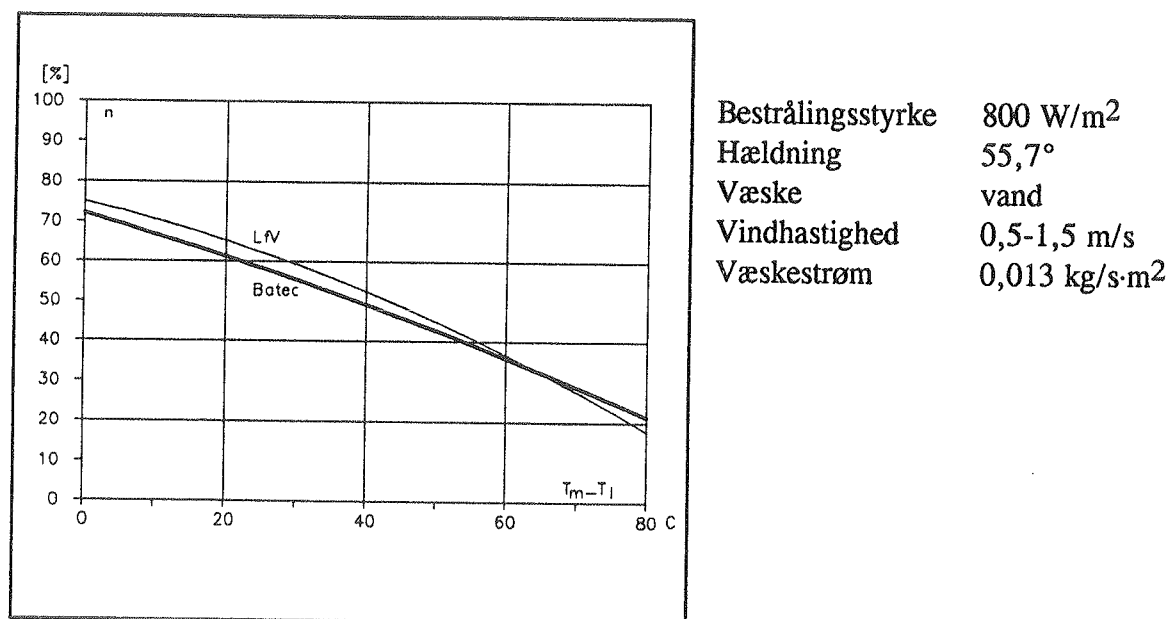


Fig. 0.1. Effektivitet for tagsolfanger.

Prisen for en LfV-tagsolfanger forventes at ligge på ca. 830 kr/m<sup>2</sup> excl. moms og montering. Absorberen udgør heraf ca. 560 kr/m<sup>2</sup>.



## SUMMARY

Solar domestic hot water systems used in multi-story apartment buildings will typically have collectors covering the south facing roof.

From economical and architectural reasons, it is interesting to use site build collectors covering the whole roof surface instead of using collector elements.

Two new cover systems - one from BATEC and one from LfV have been developed for such collectors based on a corrugated acrylic sheet.

The cover from BATEC has been fixed by thread sticks with nuts. The thread sticks clutch transversing iron pipes which have been fixed to special fixtures mounted on the roof construction. 4 thread sticks have been used per square meter cover and the pipes are placed at intervals of about 0.5 m.

The LfV-cover is glued to steel laths with an elastic silicone seal. The distance between the laths is 0.5 and 26 gluing points are used for each square meter of the cover. The steel laths are hooked onto special fixtures mounted on the roof construction.

The cover plate is 1.3 m wide and up to 6 m (12 m) long and, therefore, only sideways connections are necessary. The sideways connection is made by traditional overlapping.

Some of the advantages of these cover systems are the high solar transmittance (86%) and the low price of material as the thickness of the acrylic sheet is only 1.5 mm. The price level is about 60 kr./m<sup>2</sup>.

For the LfV-cover system there is a minimum risk of leakage for rain to penetrate as there are no perforations of the plate. Furthermore, the system gives a quick mounting due to the large elements and the fixture system.

The mechanical strength of the connection between the sheet and the thread stick of the cover system from BATEC resisted tensions up to about 1 kPa (100 kg/m<sup>2</sup>).

The silicone seal joint between the acrylic sheet and the steel lath of the LfV cover system resisted tensions up to about 3 kPa (300 Kg/m<sup>2</sup>).

In Denmark the maximum negative wind load is about 1 kPa, so both cover systems can be used.

Two 13 m<sup>2</sup> collectors with the new cover systems have been build on an outdoor test rig on the campus area. The efficiency of the collectors have been measured and the results are at the same level as for collectors with glass covers. The collectors have also been in stagnation and showed that the thermal expansion of the acrylic sheet gives no problems.

The price of the LfV cover systems is approx. 240 kr./m<sup>2</sup> which is about 1/3 of the price of an existing cover system (TeknoTerm).

## 1. INDLEDNING

Der er flere steder opført solvarmeanlæg til brugsvandsopvarmning på nye eller eksisterende boligblokke, hvor solfangeren dækker hele den sydvendte tagflade og erstatter tagbeklædningen. Som eksempler kan nævnes 160 m<sup>2</sup> i Ballerup (Egebjergvænge), 110 m<sup>2</sup> i Frederikshavn og 208 m<sup>2</sup> i København (Rebslagerhus). En sådan solfanger kaldes i det følgende en tagsolfanger.

Der er store potentielle energibesparelsesmuligheder på området, bl.a. fordi tabene fra varmtvandsanlæggene ofte er meget store. Der er da også en stigende interesse fra boligselskabernes side.

Formålet med projektet var at udvikle en tagsolfanger, der i sammenligning med de nuværende solfangere, skulle have følgende egenskaber:

1. Samme eller bedre effektivitet
2. Bedre driftssikkerhed og holdbarhed
3. Lavere komponent- og installationspris.

Projektet er gennemført i samarbejde mellem LfV og BATEC samt en materialeleverandør (acrylplader). Der blev ikke ydet tilskud til BATEC's udviklingsarbejde.



## 2. DET TRANSPARENTE DÆKLAG

Som dæklag til tagsolfangerne er der valgt en bølgeacrylplade. Acrylpladen er af typen "Vedrilser er" fra firmaet MONTEDISON.

Den tekniske betegnelse for plastmaterialet acryl er polymethylmethacrylate.

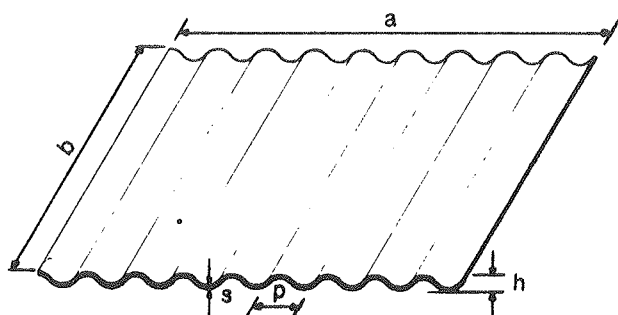


Fig. 2.1. Tegning af acrylplade.

Længde	b	6.000 - 12.000 mm
Bredde	a	1.300 mm
Pladetykkelse	s	1,5 mm
Bølgelængde	p	76 mm
Bølgehøjde	h	18 mm

Tabel 2.1 Geometriske data for acrylpladen

Tekniske data for acrylpladen og glas er angivet i nedenstående tabel 2.2.

		Acryl	Glas
Densitet	kg/m <sup>3</sup>	1170	2500
Længdeudvidelseskoefficient	°C <sup>-1</sup>	75·10 <sup>-6</sup>	8·10 <sup>-6</sup>
Varmeledningsevnen	W/m·K	0,19	0,93
Max. anvendelsestemperatur	°C	70	-
Soltransmittans	%	86*)	85

Tabel 2.2. Tekniske data for acrylplade og glas iflg. firmaoplysninger.

\*) Iflg. målinger udført af LfV.

Valget af acrylpladen som dæklag er foretaget ud fra følgende forhold.

Pladen er forholdsvis billig, ca. 60 kr/m<sup>2</sup>, og leveres i længder fra 6-12 m. Da pladerne er 6-12 m lange, er det tanken, at en plade skal dække fra kip til tagfod. Herved undgås overlæg i pladernes længderetning, samlinger på tværs laves ved traditionel overlapning (2 bølger). Overlapninger samt gennembrydninger skal, så vidt det er muligt, undgås, da disse forøger risikoen for vandindtrængning.

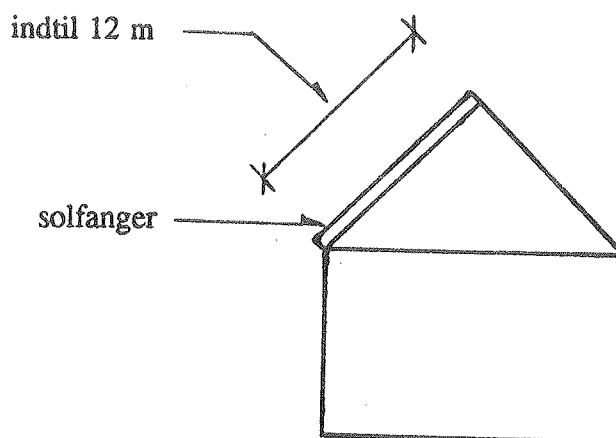


Fig. 2.2. Sol-fanger fra kip til tagfod.

Den høje soltransmittans på ca. 86% har også været afgørende ved valget af acrylpladen.

Acrylpladen er i forhold til 4 mm glas forholdsvis let. Pladen vejer 2 kg/m<sup>2</sup>, hvorimod glas vejer 10 kg/m<sup>2</sup>. Den mindre vægt giver en lettere håndtering af acrylpladen og dermed en nemmere montering.

Valget er desuden foretaget ud fra, at acryl er den plasttype, som er den mest holdbare over for vejrliget og UV-stråling.

Ved at vælge acrylpladen som dæklag er der forskellige problemer, der skal løses.

Acrylpladen skal af styrke- og nedbøjningshensyn understøttes på passende vis. Acrylpladen kan ikke over hele sin længde eller bredde optage sne- og vindlaster.



Længdeudvidelseskoefficienten for acryl er stor. En acrylplade på 6 m udvider sig med længden:

$$75 \cdot 10^{-6} \text{ K}^{-1} \cdot 6 \text{ m} \cdot (70 - (-20))\text{K} = 41 \text{ mm, hvor}$$

$75 \cdot 10^{-6} \text{ K}^{-1}$	Længdeudvidelseskoefficient
$-20^{\circ}\text{C}$	Temperaturen om vinteren
$70^{\circ}\text{C}$	Max. dæklagstemperatur

Denne udvidelse skal der tages hensyn til ved fastgørelsen af pladen og ved enderne.

Desuden må acrylpladen ikke udsættes for temperaturer større end  $70^{\circ}\text{C}$ .



### 3. DÆKLAGSKONSTRUKTIONEN

I projektets start er der arbejdet med tre udformninger af dæklagskonstruktionen til tagsolfangeren. En udformning fra BATEC og to fra LfV. Prøvninger skulle vise om udformningerne er brugbare.

#### 3.1 Udformning fra BATEC

Ved udformningen fra BATEC er acrylpladerne fastgjort med gevindstænger og møtrikker. Stængerne er bukket, så de griber om et tværgående jernrør. Jernrøret understøtter acrylpladen pr. 50 cm i længderetningen.

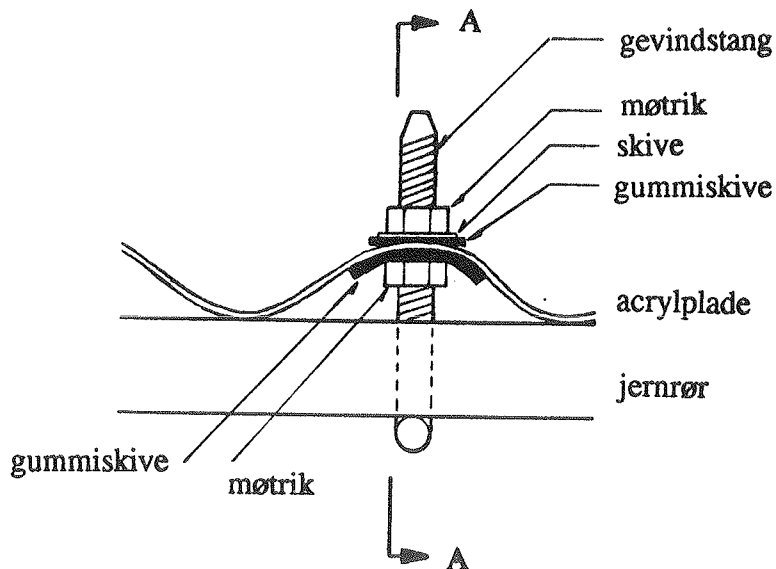


Fig. 3.1. Fastgørelse af acrylpladen.

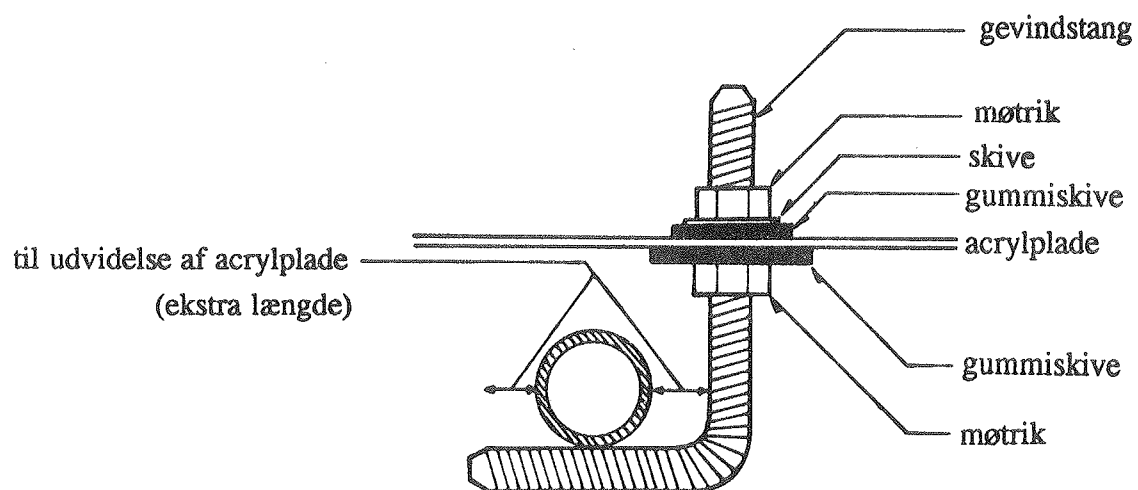


Fig. 3.2. Snit A ~ A.

For at få en tætning af hullerne er der anvendt en gummiskive. Pga. den termiske udvidelse af acrylpladerne skal den bukkede del af gevindstangen have en "ekstra længde".

Jernrøret er understøttet på midten og i enderne.

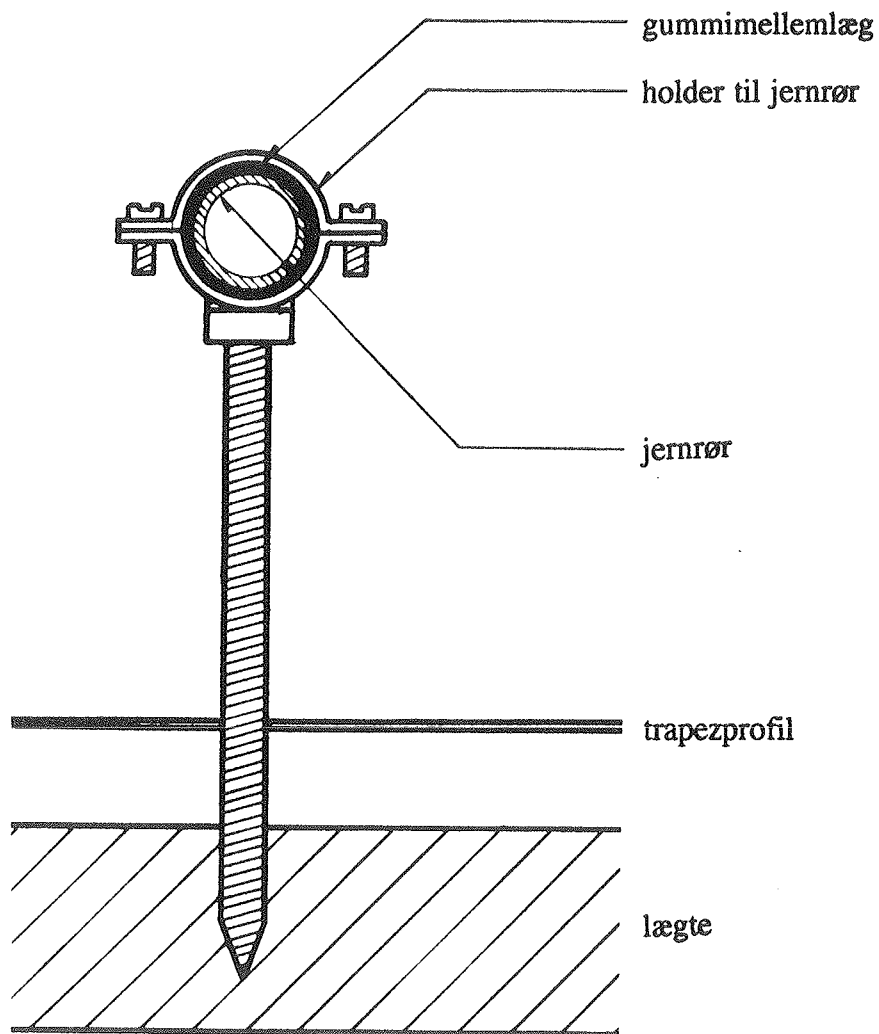


Fig. 3.3. Principtegning af understøtning

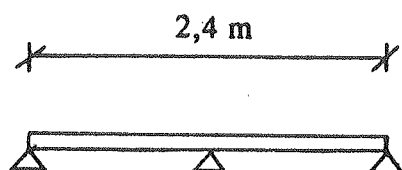


Fig. 3.4. Understøtningspunkter.



### 3.2 Udformning 1 fra LfV

Princippet i denne udformning er at undgå gennembrydninger af acrylpladen.

En 0,5 mm stålplade er bukket i facon, så den passer til bølgedalene i acrylpladen. Stålpladen er popnippet til et firkantet stålør. Herefter er acrylpladen fastgjort til stålpladen med siliconefugemasse.

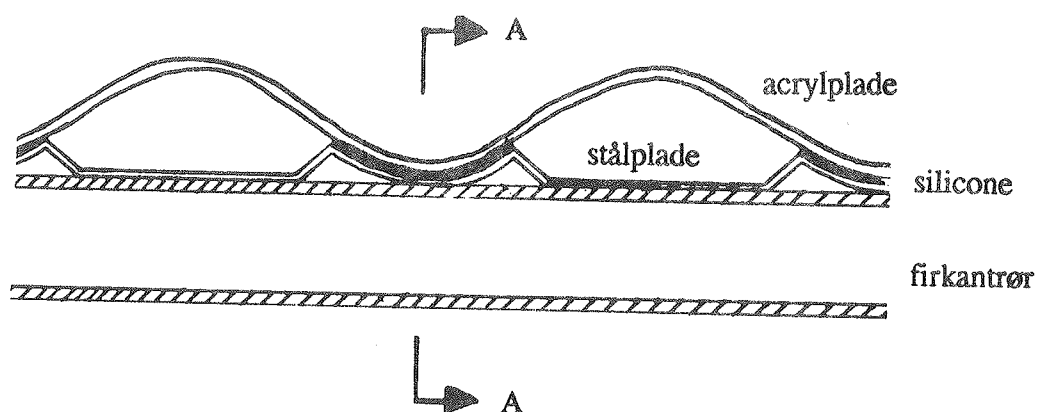


Fig. 3.5. Fastgørelse af acrylplade til stålplade. Tværsnit.

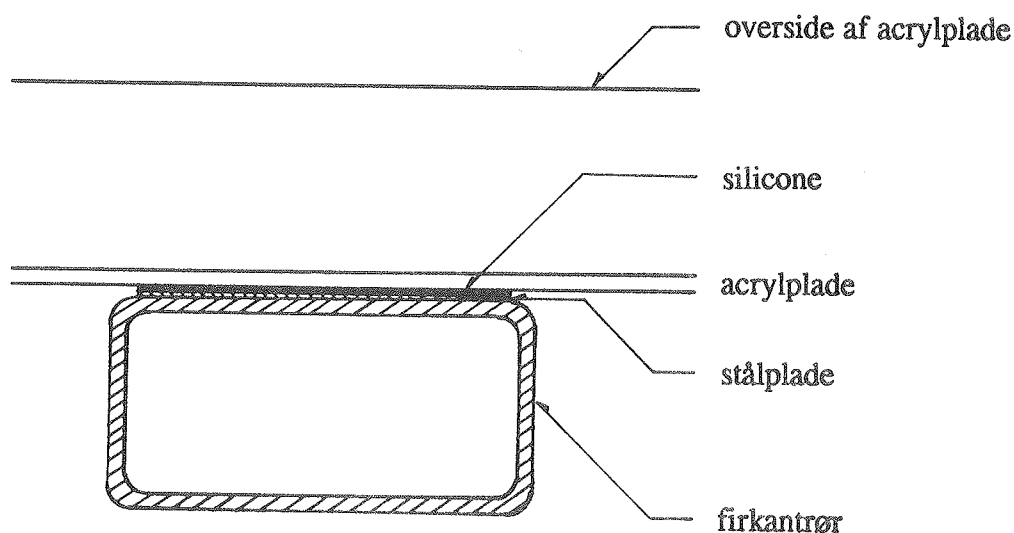


Fig. 3.6 Snit A ~ A.

Firkantrøret fastholdes af specielt udformede beslag.

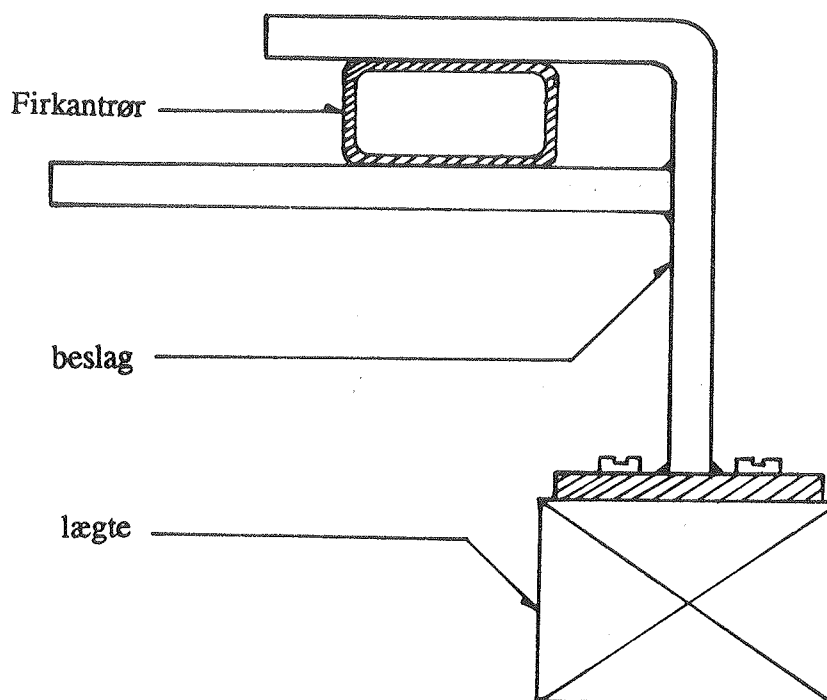


Fig. 3.7. Principskitse af beslag til fastholdelse af firkantrør.

### 3.3 Udformning 2 fra LfV

Ændringen fra udformning 1 er, at den tynde stålplade er udeladt. Acrylpladen er limet direkte på firkantrøret med siliconefugemasse.

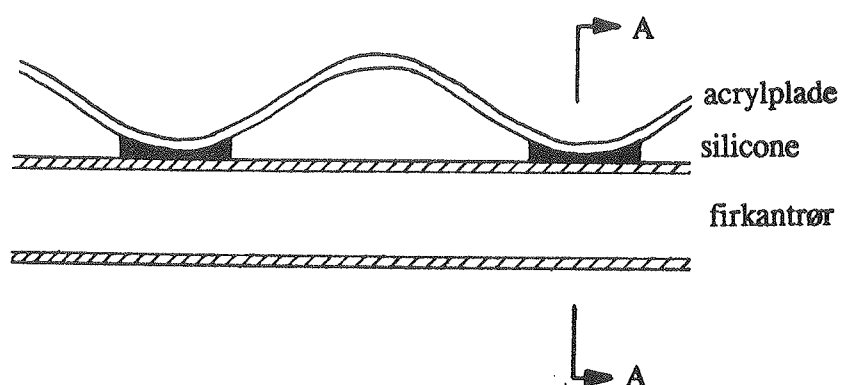


Fig. 3.8. Fastgørelse af acrylplade til firkantrør.

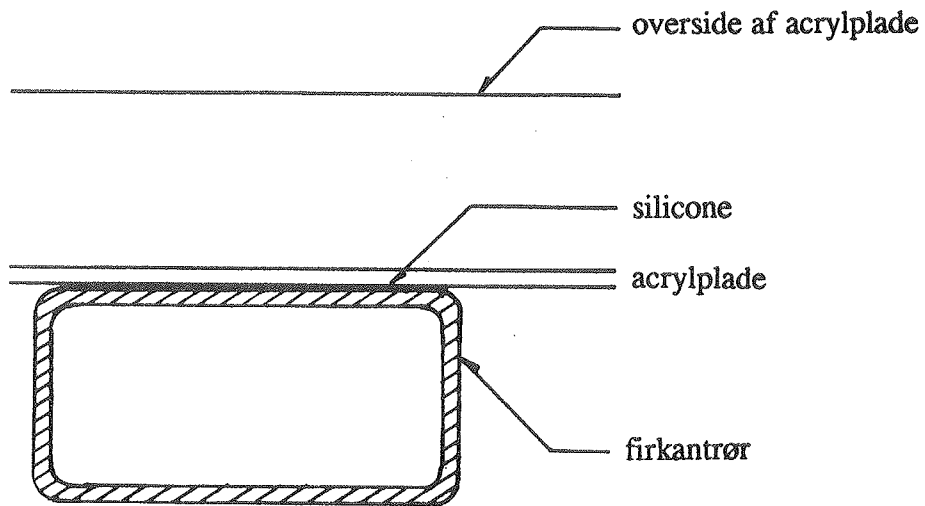


Fig. 3.9. Snit A ~ A.

Viser det sig ved trækprøvningerne, at denne udformning kan holde til sne- og vindlast, så anvendes denne i stedet for udformning 1.

Udformning 2 er ikke så arbejdskrævende som udformning 1.

#### 4. PRØVNING OG RESULTAT FOR DÆKLAGSKONSTRUKTIONER

De tre dæklagskonstruktioner er trækprøvet i laboratoriets prøvestand for styrke- og regntæthedsprøvning af solfangere.

På hver bølge-acrylplade er der pålimet nogle firkantede plane acryl-plader ca. 20 x 20 cm. Dette skyldes, at sugekopperne på prøvemaskinen skal have en plan flade at fastgøres til.

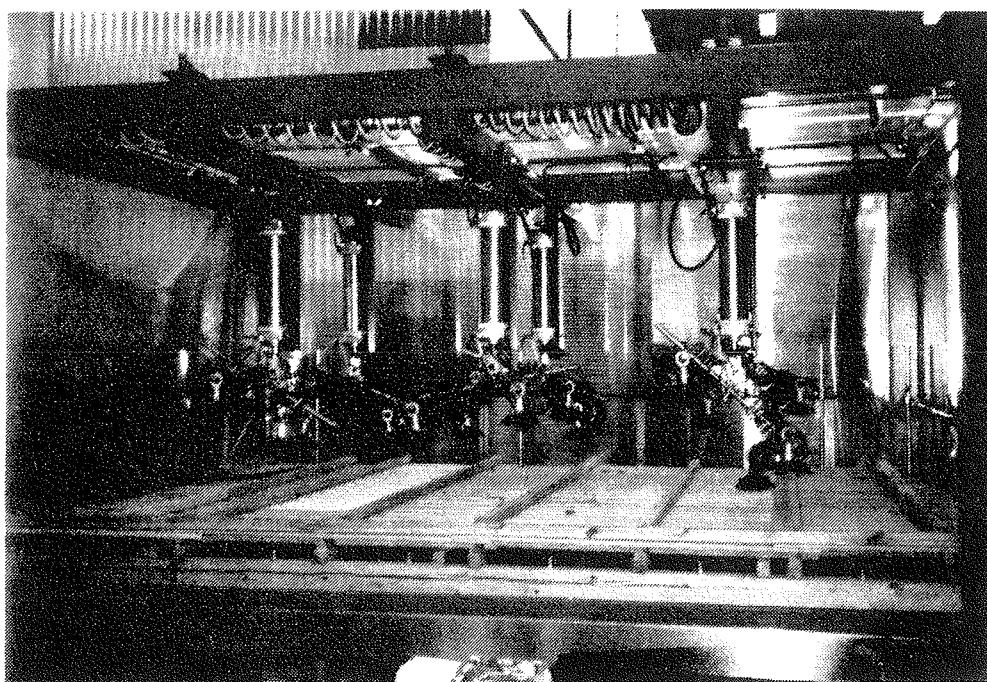


Fig. 4.1. Billede af trækprøvemaskine.

##### 4.1 BATEC

For BATEC-konstruktionen skete der brud ved gennemlokning af acrylpladen ved punktfastgørelserne (gevindstang + møtrikker). Brudet skete ved en belastning på 20 kg pr. punktfastgørelse.

Med en afstand på 500 mm mellem jernrørene (lægteafstand) og med fastgørelse af acrylpladen ved hver femte bølge fås:

$$20 \text{ kg} / (0,500 \text{ m} \cdot 0,076 \text{ m} \cdot 5) = 105 \text{ kg/m}^2 \text{ solfanger.}$$

Bølgeafstand: 0,076 m

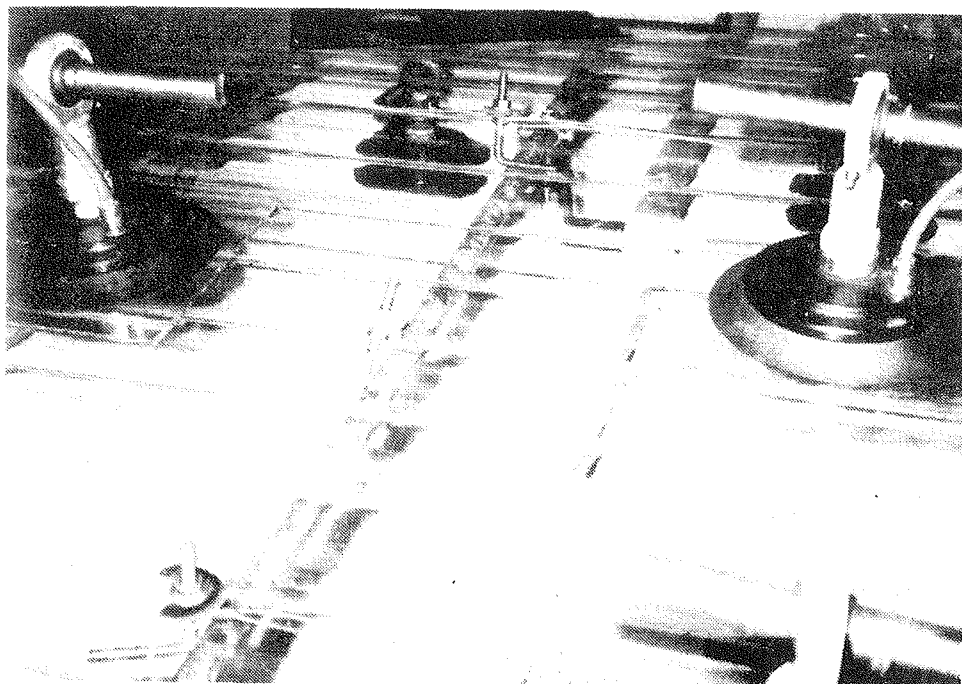


Fig. 4.2. Billede af BATEC dæklag i prøvemaskine.

#### 4.2 LfV 1 (konstruktion med bukket stålplade)

For LfV 1-konstruktionen var det siliconefugemassen, som ikke kunne holde. Brudet indtraf ved en belastning på 6 kg pr. fastgørelsespunkt dvs. pr. "siliconeklat". Omregnet til pr. arealenhed solfanger fås:

$$6 \text{ kg} / (0,500 \text{ m} \cdot 0,076 \text{ m}) = 158 \text{ kg/m}^2 \text{ solfanger}$$

Stållægteafstand: 500 mm

Bølgeafstand: 76 mm

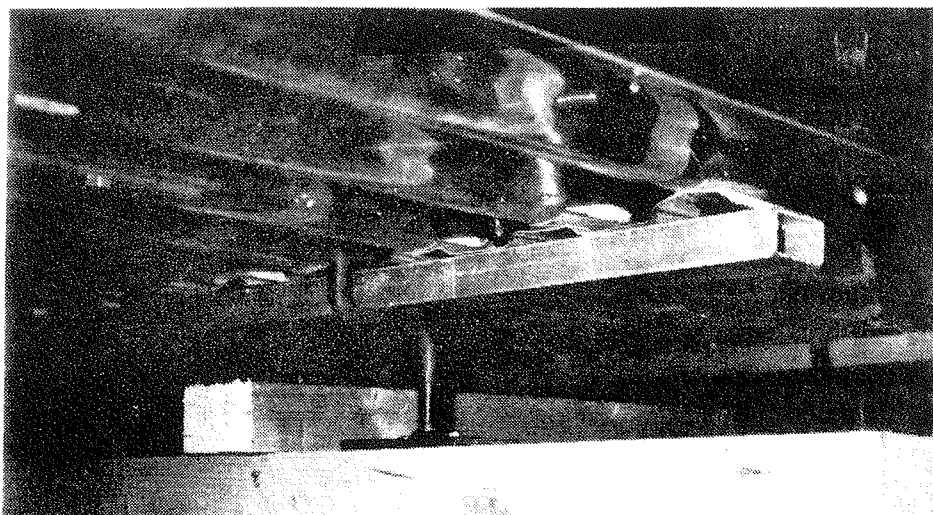


Fig. 4.3. Billede af LfV 1-prøve.



### 4.3 LfV 2 (uden stålplade)

Siliconefugemassen var ligeledes det svageste punkt for LfV 2-konstruktionen.

Brud ved 13 kg. pr. fastgørelsespunkt.

Styrken pr. arealenhed solfanger er:

$$13 \text{ kg}/(0,500 \text{ m} \cdot 0,076 \text{ m}) = 342 \text{ kg/m}^2 \text{ solfanger.}$$

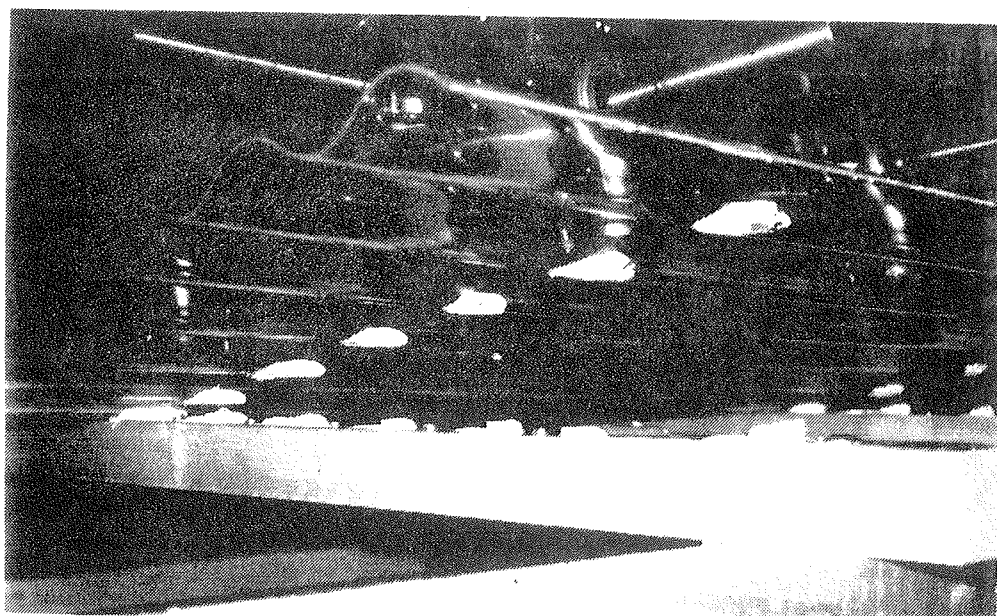


Fig. 4.4. Billede af LfV 2-prøve.

Her er benyttet en trælægte med påsat stålplade i stedet for firkanttrøret. Dette har ikke nogen indflydelse på prøvningen.

Grunden til, at der er størst styrke i LfV-2 typen, kan hænge sammen med hærdetid for siliconefugen eller forskellige ujævnheder i belastningen af de to typer. Det var kun en del af "klatterne", der gik i stykker ved prøvningen.

De tre dæklagskonstruktioner skal holde til vindlast. Vindlasten på en tagflade er fundet til  $106 \text{ kg/m}^2$  i Appendix A. Det ses, at Batec's udformning ligger lige på grænsen.

Fastgørelse vha. siliconefugemasse er langt stærkere end nødvendigt. Det er ikke nødvendigt at benytte en profileret stålplade som underlag for acrylpladen.



## 5. TAGSOLFANGERNE

Ud fra to egnede dæklagskonstruktioner er der opbygget to tagsolfangere på en udendørs prøvestand. En tagsolfanger fra firmaet BATEC med fastgørelse af dæklag vha. gevindstænger og møtrikker og en fra LfV, hvor dæklaget er pålimet firkanttrør. Solfangerne er ca. 13 m<sup>2</sup> store.

### 5.1 BATEC-solfangeren

Opbygningen af BATEC-tagsolfangeren er foregået på følgende måde:

Specielle stålholdere (fig. 3.3) til de tværgående jernrør er skruet i det underliggende tags lægter.

Bagsideisoleringen af solfangeren er lagt direkte på det eksisterende tag, hermed virker taget som bagklædning til solfangeren. Oven på isoleringen er absorberen anbragt, hvori der er klippet hul til de specielle stålholderne. Herefter er de tværgående jernrør til de specielle stålholderne påmonteret.

Acrylpladen er lagt oven på jernrørene og fastgjort med bukkede gevindrør og møtrikker, (fig. 3.1 + 3.2).

Til slut er inddækningen fastgjort.

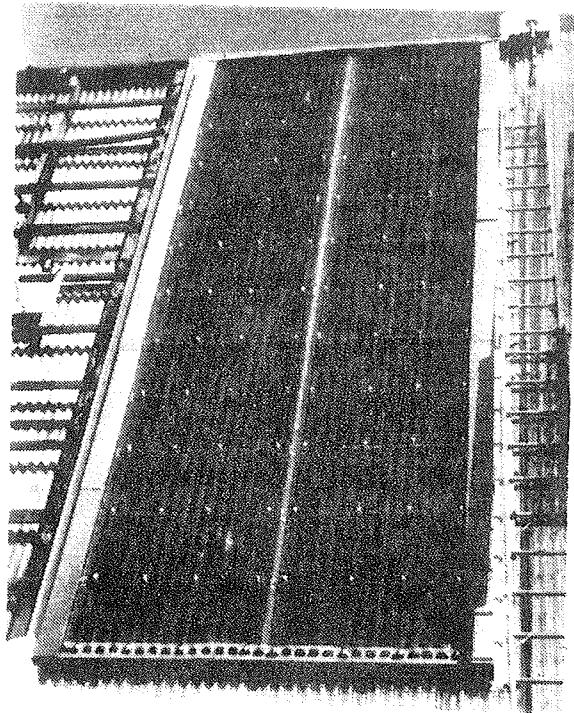


Fig. 5.1. Billede af BATEC-solfangeren.

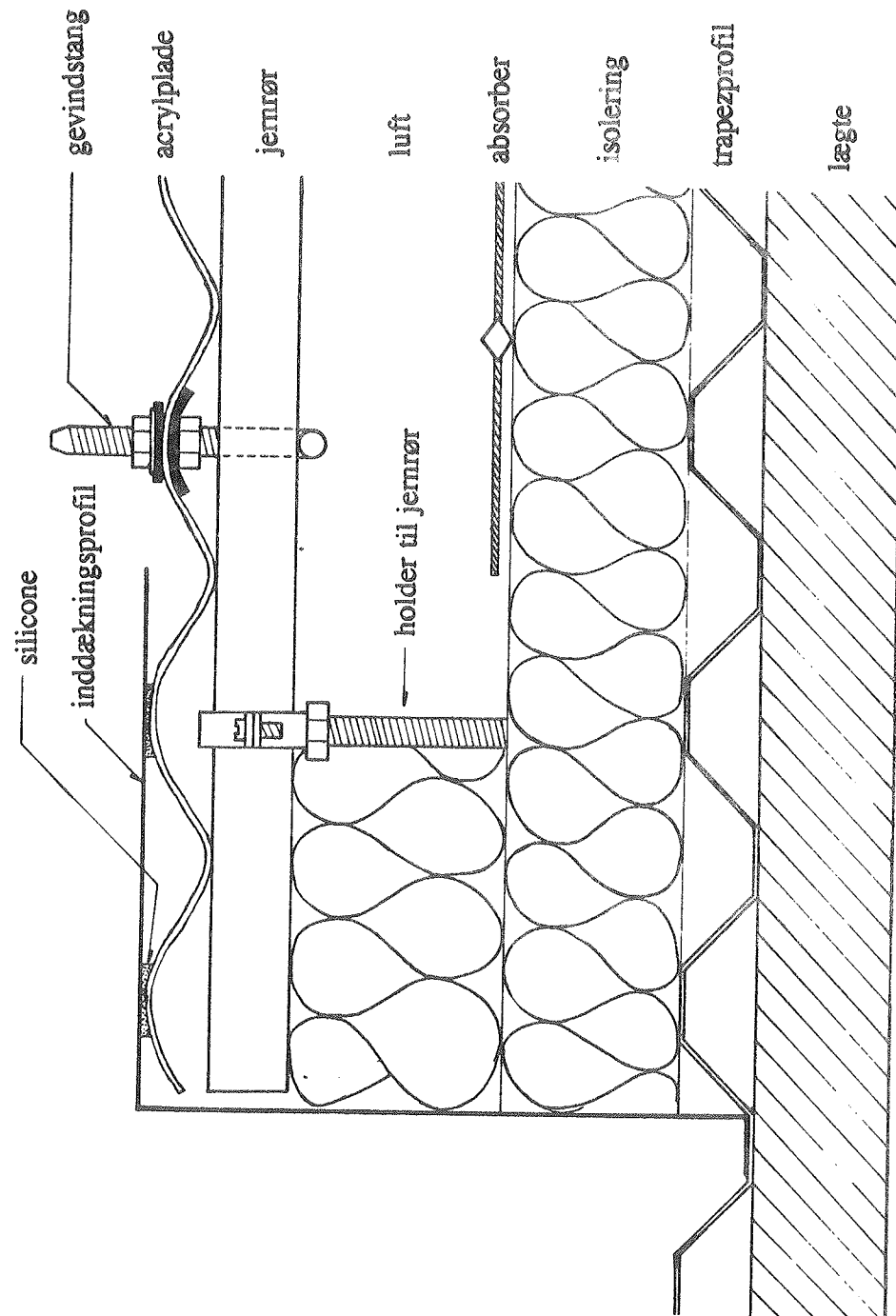


Fig. 5.2. Principtegning af BATEC-tagsolfanger. Tværsnit.

## 5.2 LfV-solfangeren

LfV-solfangeren består af tværgående lægter med en afstand på 500 mm. Lægterne er fastgjort til det underliggende tags lægter. På lægterne er påskruet specielle beslag, som fastholder firkantrørene. (Fig. 3.7).

Solfangerisoleringen er anbragt oven på det underliggende tag samt i en mindre tykkelse oven på trælægterne. Lægterne udgør dog kun ca. 10% af solfangerarealet.

Absorberen er lagt oven på isoleringen. Til slut er dæklag og inddækning påmonteret.

Dæklaget består af acrylplader, hvor der er pålimet firkantrør. (Fig. 3.8 + 3.9).

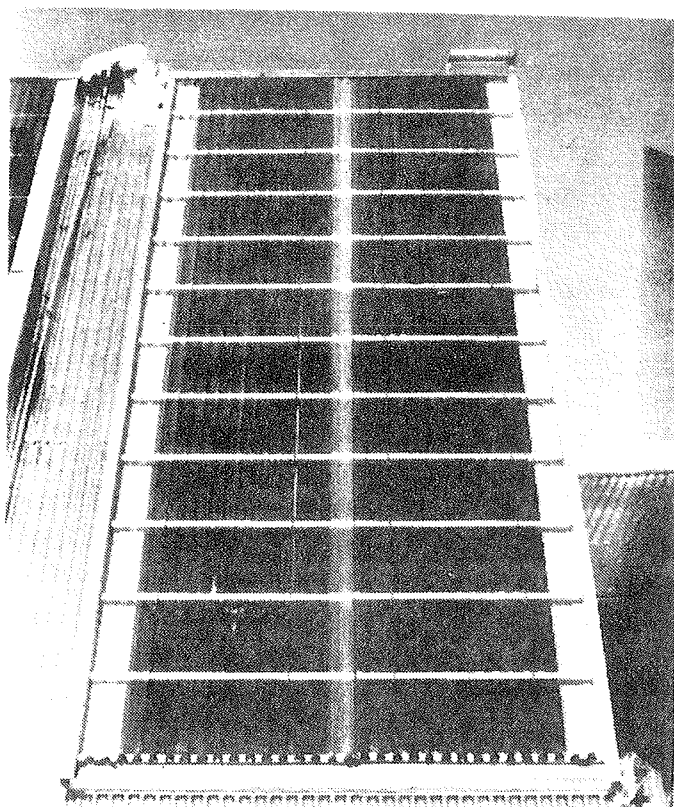


Fig. 5.4. Billede af LfV's solfanger.

Ved at påklæbe 15 mm isolering på undersiden af firkantrøret sikres, at absorberen ikke kommer i berøring med firkantrøret. (Fig. 5.5).

Inddækningsprofilet er skruet i et bræt, som er fastgjort til en langsgående lægte. Brættet giver en tætning af solfangeren.

For at give plads til stålholderne er der klippet hul i absorberen. Hullerne er ca. 3,5 x 3,5 cm for at være sikker på, at absorberen ikke berører holderne. Holderne vil ellers virke som kuldebro.



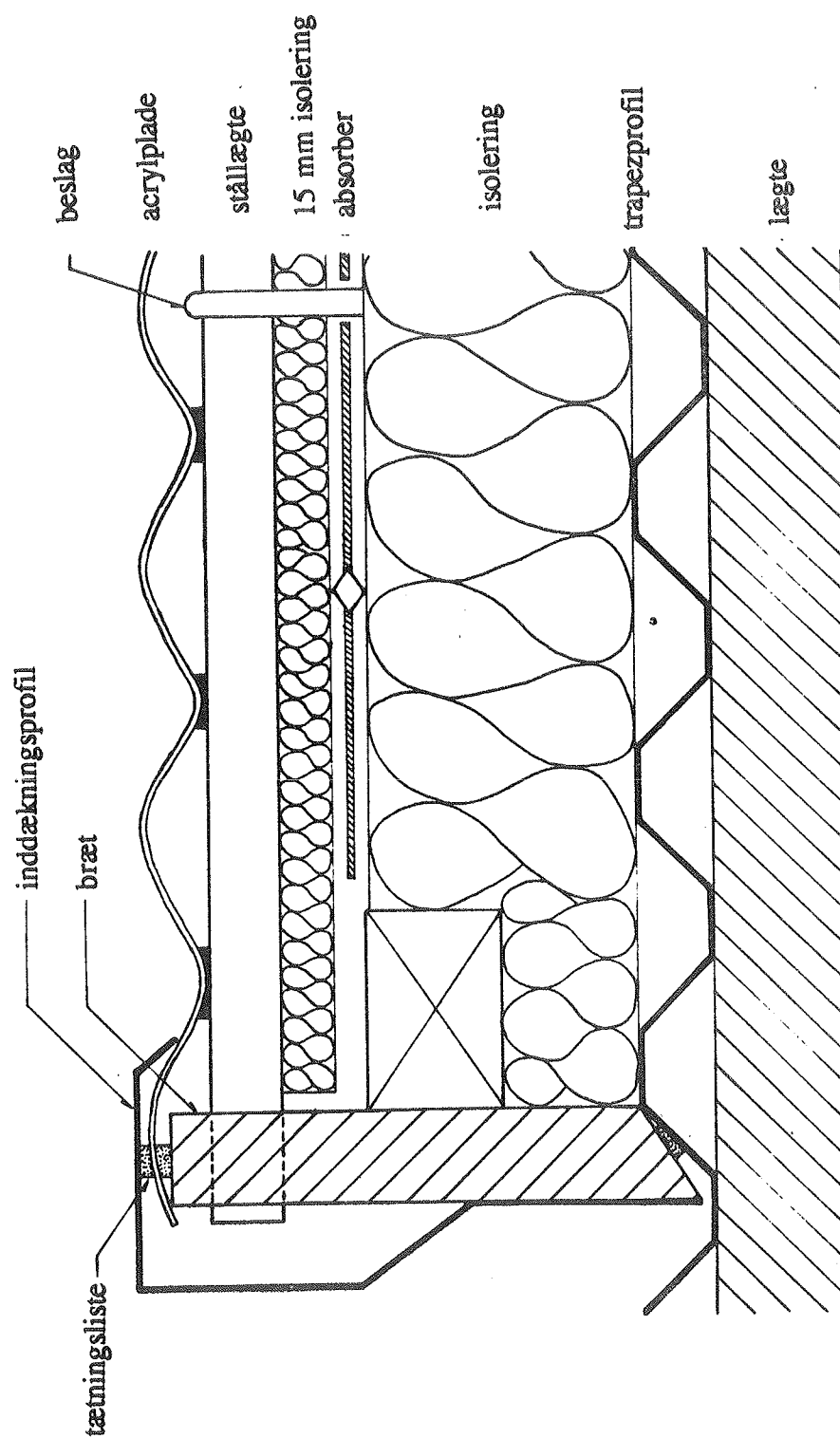


Fig. 5.5. Princip-tegning af LfV-solfanger.

## 6. MÅLINGER OG RESULTATER FOR TAGSOLFANGERNE

For hver af de to tagsolfangere er der udført effektivitetsmålinger. Målingerne er foretaget ved fire forskellige indløbstemperaturer ca. 17-, 35-, 62-, 86°C.

Målingerne er foregået udendørs på solskinsdage, hvor bestrålingsstyrken har været næsten konstant.

Desuden er solfangerne udsat for stagnation, og acrylpladernes temperatur i toppen af solfangeren er målt.

### 6.1 Effektivitet for solfangerne

Effektivitetskurverne for de to tagsolfangere er angivet på nedenstående figur. Effektiviteterne er beregnet ud fra solfangernes nettoareal dvs. solfangerarealet minus inddækninger og stålprofiler (jernrør). Nettoarealet er lig det transparente areal. De detaljerede måleresultater er angivet i appendix C.

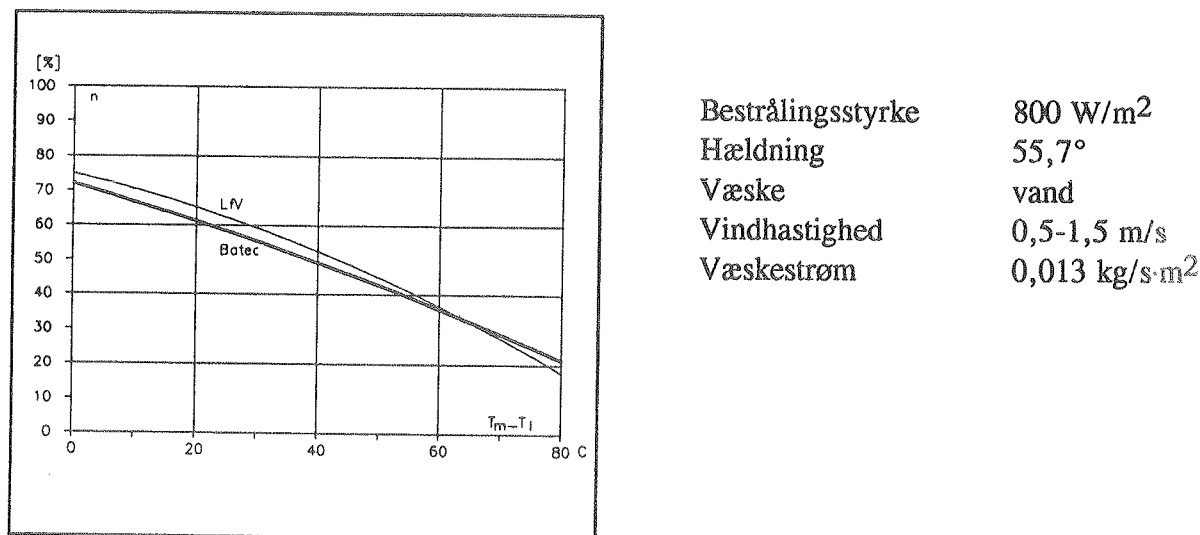


Fig. 6.1 Effektivitetskurver for tagsolfangerne.

Effektivitetsudtrykkene  $n$  er udregnet til følgende:

$$\text{BATEC} \quad n = 0,72 - 4,031 \cdot \frac{T_m - T_i}{E} - 0,013 \cdot \frac{(T_m - T_i)^2}{E}$$

$$\text{LfV} \quad n = 0,75 - 3,236 \cdot \frac{T_m - T_i}{E} - 0,031 \cdot \frac{(T_m - T_i)^2}{E}$$

Effektiviteten i afhængighed af indfaldsvinklen er interessant, da det er bølgede plader, der er benyttet som dæklag og ikke et plant dæklag som i alm. solfangere.

Effektiviteten som funktion af indfaldsvinklen er fundet ved at benytte resultater fra middag og eftermiddag, hvor solstrålingen kommer ind ved forskellige vinkler. Måleresultaterne er angivet i appendix C.

Resultaterne er vist i figur 6.2.

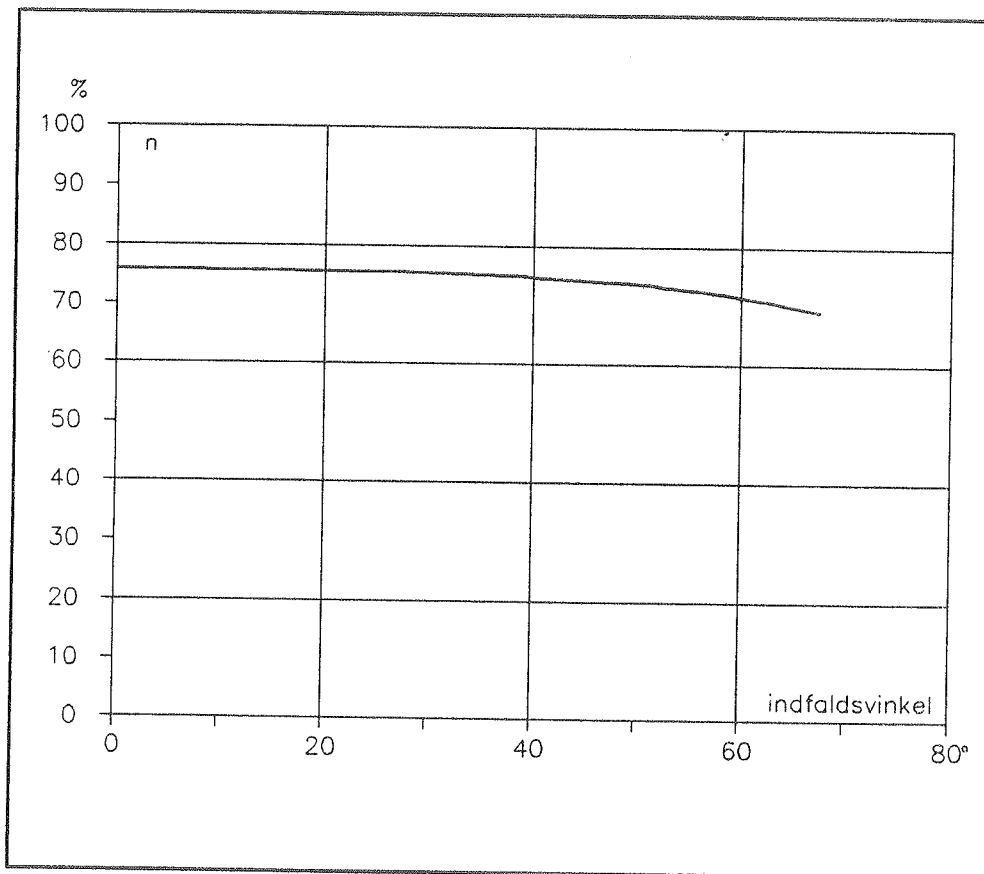


Fig. 6.2. Effektiviteten som funktion af indfaldsvinklen.

Hældning	55,7°
Væske	vand
Vindhastighed	0,5-1,5 m/s
Væskestrøm	0,013 kg/s·m <sup>2</sup>

Der er kun angivet én kurve, da effektiviteterne for de to tagsolfangere er praktisk taget ens. (Se fig. 6.1.).

## 6.2. Acrylpladetemperatur

Under stagnation er dæklagstemperaturen i toppen af solfangeren målt til 50°C og i bunden til 36°C for de to tagsolfangere.

Temperaturene er målt under følgende forhold:

Lufttemperatur	25°C
Vindhastighed	1-2 m/s
Bestrålingsstyrke	720 W/m <sup>2</sup>

På en klar solskinsdag kan bestrålingsstyrken komme op på ca. 1000 W/m<sup>2</sup> og udetemperaturen 28°C.

Det antages, at temperaturforskellen  $\Delta T$  mellem dæklag og luft er proportional med bestrålingsstyrken. Herved kan den maximale dæklagstemperatur på en god solskinsdag udregnes til følgende:

$$\Delta T_{\text{målt}} \cdot \frac{E_{\text{max}}}{E_{\text{målt}}} + T_{\text{ude}} = T_{\text{dæklag}}$$

$$(50 - 25)^{\circ}\text{C} \cdot \frac{1000\text{ W/m}^2}{720\text{ W/m}^2} + 28^{\circ}\text{C} = 63^{\circ}\text{C}$$

Den maximale dæklagstemperatur på 63°C ligger under den højeste anbefalede anvendelsestemperatur for dæklaget på 70°C.

Ud fra dette må acrylpladen siges at være anvendelig som dæklag til tagsolfangerne, da temperaturen ikke når op på 70°C.

De termiske udvidelser af acrylpladerne har for begge solfangere kunnet ske uhindret i fastgørelsessystemerne.

## 6.3 Holdbarhed

For Batec solfangeren er siliconefugen mellem acrylpladen og inddækningsprofilen ikke tæt, dvs. der er ingen vedhæftning mellem acrylpladen og inddækningsprofilen.

Der er observeret kondens på indersiden af acrylpladen for BATEC- og LfV solfangeren.



## 7. PRIS FOR TAGSOLFANGER

Kvadratmeterprisen for en tagsolfanger på 100 m<sup>2</sup> er beregnet på grundlag af en opbygning som for LfV-tagsolfangeren. Firkanttrøret, som er siliconelimet til acrylpladen, er dog udskiftet med et U-profil, der er mindre og billigere. U-profilet kan enten være af galvaniseret stål eller af aluminium. Prisen er omtrent den samme pr. meter profil, (profilerne er forskellige af styrke- og leveringshensyn).

Styrkeberegningen for U-profilerne findes i appendix B.

Kvadratmeterprisen er beregnet ud fra solfangerens bruttoareal. Bruttoarealet er tagsolfangerens areal incl. inddækninger og stålprofiler altså lig med tagfladens areal. Forholdet netto/bruttoareal er 0,91.

Fabrikationsprisen for tagsolfangeren er angivet i tabel 7.1.

I tabel 7.2 er tilbudsprisen for tagsolfangeren angivet.

MATERIALER:		kvadratmeterpris for 100 m <sup>2</sup> tagsolfanger
Lægter	=	13 kr./m <sup>2</sup>
Galvaniseret Stålholder	=	44 -
Acrylplade	=	57 -
Silicone + primer	=	8 -
Stålprofil (aluminium)	=	33 -
Afstandsisolering	=	2 -
Inddækning	=	13 -
Diverse (skruer, lim, tætningsbånd)	=	10 -
Dæklagskonstruktion i alt	=	180 kr./m <sup>2</sup>
Absorber	=	411 kr./m <sup>2</sup>
Isolering 75 mm	=	20 -
I alt	=	611 kr./m <sup>2</sup>

Tabel 7.1. Fabrikationspris for LfV-tagsolfanger.

Prisen for stålholderne er beregnet ud fra en bestilling på 1000 stk.

Priserne er indhentet hos følgende firmaer:

Montedison  
Jernkontoret  
Gränges/Metalco  
Johannes Fog

Batec  
Casco Nobel  
BMF Bygningsbeslag

MATERIALER: kvadratmeterpris for 100 m <sup>2</sup> tagsolfanger		
Dæklagskonstruktion	=	243 kr./m <sup>2</sup>
Absorber	=	555 kr./m <sup>2</sup>
Isolering 75 mm	=	27 kr./m <sup>2</sup>
I alt	=	825 kr./m <sup>2</sup>

Tabel 7.2 Tilbudspris for tagsolfanger. (LfV type).

Tilbudsprisen er uden moms, montering og statstilskud. Tilbudsprisen er beregnet som fabrikationsprisen plus et tillæg på 35 %.

### 7.1 Sammenligning

En sammenligning af effektivitet og pris mellem et eksisterende tagsolfangersystem med små acrylplader (TeknoTerm IT) og de nye systemer (BATEC, LfV) vil være af interesse. Effektiviteten for TeknoTerm IT, BATEC og LfV-tagsolfangerne er angivet i figur 7.1.

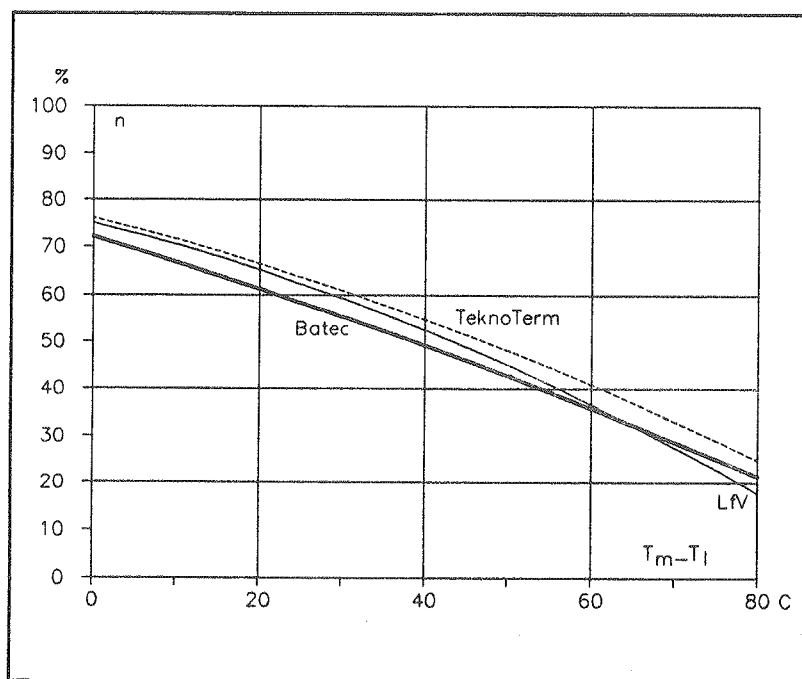


Fig. 7.1 Effektivitet for TeknoTerm IT, BATEC og LfV-tagsolfangerne.

Af kurverne ses, at effektiviteten af de nye tagsolfangere ligger lidt lavere end effektiviteten for TeknoTerm IT tagsolfangeren.

Bemærkning til figur 7.1: hældningen for TeknoTerm IT er 45° mens den for BATEC og LfV er 55.7°. Dette har kun lidt indflydelse på effektiviteten.

## 7.2 Sammenligning af pris

Sammenligningen er foretaget mellem TeknoTerm- og LfV-tagsolfangerne.

Sammenligningen af priserne for de to solfangersystemer er foretaget uden absorber. Dette skyldes, at man dermed har mulighed for at sammenligne priserne, selv om der anvendes en anden og billigere absorber i et af solfangersystemerne.

I den opgivne pris for TeknoTerm er ikke medregnet isolering, dvs. sammenligningen er reelt mellem dæklagskonstruktionerne.

Ifølge prisoverslaget på foregående side fås prisen for LfV dæklagskonstruktionen til 243 kr/m<sup>2</sup>.

Prisen for TeknoTerm-dæklaget er opgivet til 700 kr/m<sup>2</sup>.

Begge priser er uden moms og montering.

Det ses, at LfV dæklagskonstruktionen er meget billigere end TeknoTerm konstruktionen. Ser man på forholdet mellem effektivitet og pris, er LfV-tagsolfangerne noget bedre end TeknoTerm-tagsolfangeren, da effektiviteterne praktisk taget er ens.





## 8. KONKLUSION

Det har vist sig muligt at benytte en bølge-acrylplade som transparent dæklag til store solfangere opbygget på en tagflade.

De to fastgørelsessystemer, der er udviklet, er begge i stand til at fastholde dæklaget mod vind- og snebelastninger og kan samtidig tillade den termiske udvidelse af dæklaget.

Den ene løsning er baseret på en mekanisk fastgørelse baseret på limning og giver således ingen huller i dæklaget. Der er hermed mulighed for at opnå særdeles gode egenskaber med hensyn til regntæthed.

Begge fastgørelsessystemer er beregnet til at kunne monteres meget hurtigt på taget, idet de stort set kun skal lægges op og skubbes på plads.

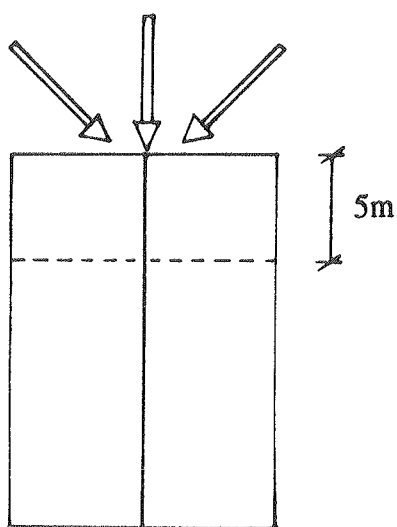
Effektiviteten af solfangerne er blevet bestemt, og resultaterne svarer stort set til effektiviteten af tilsvarende solfangere og af solfangerelementer med samme absorber men med glas som dæklag. Varmetabskoefficienten er lidt mindre end for tilsvarende elementsolfangere.

Prisoverslag viser, at der på materialesiden vil være mulighed for, at dæklaget kan laves for ca. 240 kr/m<sup>2</sup>, hvilket er billigere end tilsvarende dæklag.

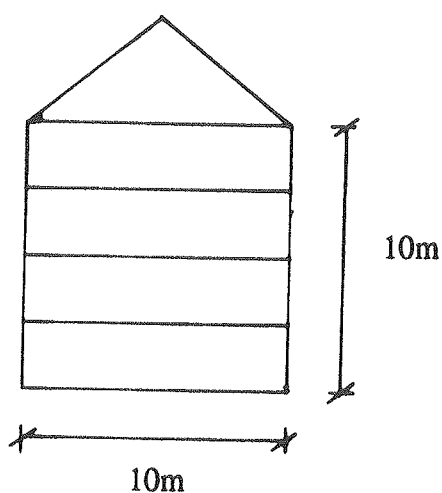


### Appendix A.

De tre dæklagskonstruktioner skal holde til vindlast. Vindlasten på en tagflade med følgende udformning beregnes vha. DS 409 + 410.



Plan af tagflade.



Gavl.

C-værdierne for vind mod facade er mindre en 1,0. Terrænet forudsættes at være landbrugsland med læhegn, hvilket giver en større vindhastighed end i bymæssig bebyggelse. Vindhastigheden findes til  $\sim 37$  m/s, hvilket medfører  $q = 0,8 \text{ KN/m}^2$ .

Karakteristisk vindsug:  $W = q \cdot C = 800 \text{ N/m}^2 \cdot 1,0 = 800 \text{ N/m}^2$   
 $\sim 81 \text{ kg/m}^2$

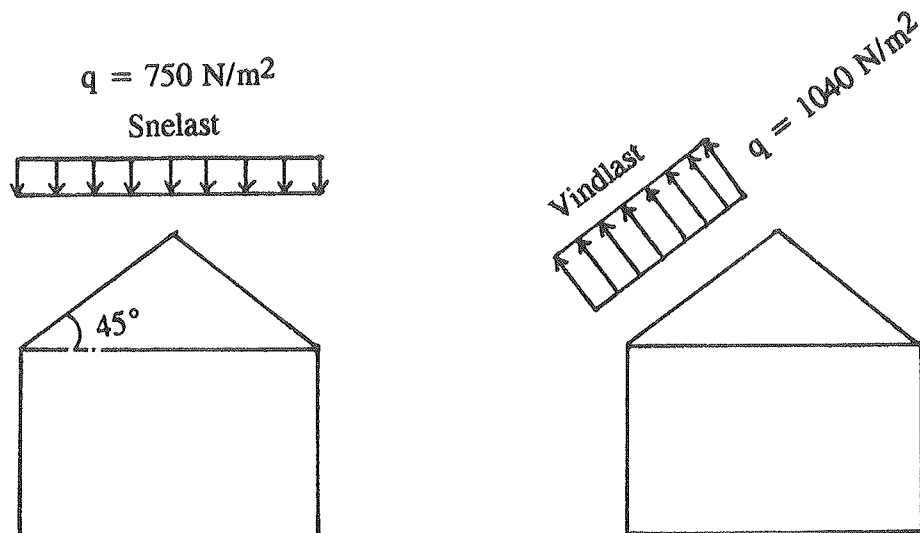
Regningsmæssig vindsug:  $W = 1,3 \cdot q \cdot C = 1,3 \cdot 800 \cdot 1,0 = 1040 \text{ N/m}^2$   
 $\sim 106 \text{ kg/m}^2$

Dvs. at fastgørelserne af dæklaget skal kunne klare et træk på  $106 \text{ kg/m}^2$ .

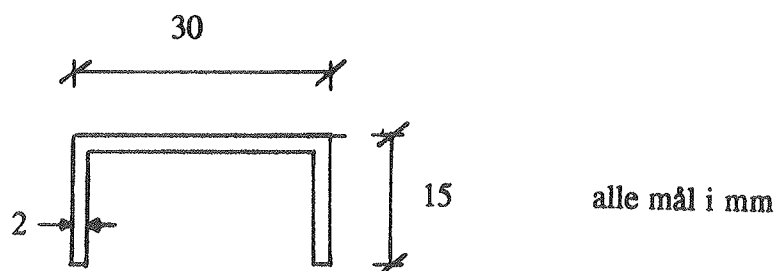


## Appendix B

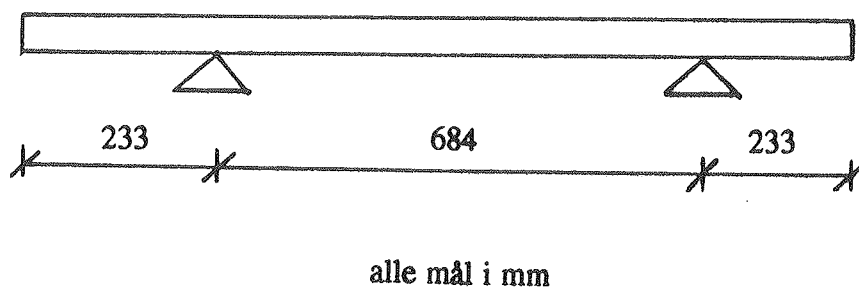
Beregning af stålprofil til understøtning af acrylplade (LfV-2 konstruktion). Beregningen foregår efter DS 409 + 410. Normal sikkerhed og normal kontrolklasse forudsættes.



Der vælges et U-profil:



Understøtningen af profilet.



Den største belastning på profilet kommer fra vindlasten, da snelasten er mindre og virker omkring både z- og y-aksen af profilet.

Det statiske moment omkring underkant af profilet:

$$S_A = \left[ 15 \cdot 2 \cdot \left( \frac{15}{2} \right) \right] \cdot 2 + 26 \cdot 2 \cdot 14 = 1178 \text{ mm}^3$$

$$\text{Arealet } A = (15 \cdot 2) \cdot 2 + 26 \cdot 2 = 112 \text{ mm}^2$$

$$y = \frac{S_A}{A} = \frac{1178 \text{ mm}^3}{112 \text{ mm}^2} = 10,5 \text{ mm} \text{ fra underkant}$$

Inertimomentet

$$\begin{aligned} I_z &= \left[ \frac{1}{12} \cdot 2 \cdot 15^3 + 2 \cdot 15 \cdot 3^2 \right] \cdot 2 + \frac{1}{12} \cdot 26 \cdot 2^3 + 26 \cdot 2 \cdot 3,5^2 \\ &= (563 + 270) \cdot 2 + 17 + 319 \\ &= 1985 \text{ mm}^4 \end{aligned}$$

Vindbelastning  $q = 1040 \text{ N/m}^2$  (værdi fra appendix A).

Vindbelastningen  $Q$  med en lægteafstand på 500 mm:

$$Q = 1040 \text{ N/m}^2 \cdot 0,500 \text{ m} = 520 \text{ N pr. meter profil.}$$

$$\text{Momentet } M = 1/8 \cdot 0,520 \text{ N/mm} \cdot (684 \text{ mm})^2 = 30.411 \text{ Nmm}$$

$$\text{Spændingen } \rho = \frac{M}{I_z} \cdot y = \frac{30.411 \text{ Nmm}}{1985 \text{ mm}^4} \cdot 10,5 = 161 \text{ N/mm}^2$$

Flydespændingen  $f_{yd} = 184 \text{ N/mm}^2$  ok profilet holder.

Udbøjningen  $U$ , af profiler ved vindlast undersøges.

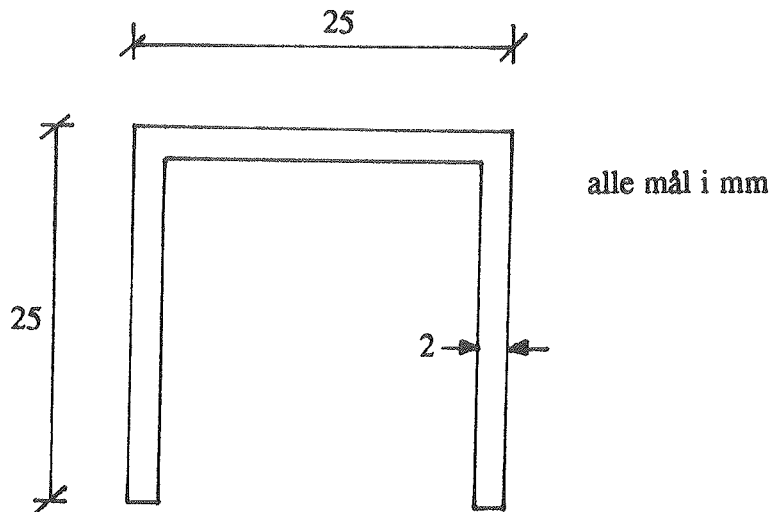
$$\text{Karakteristisk vindlast } Q_k = 800 \text{ N/m}^2 \cdot 0,500 \text{ m} = 0,400 \text{ N/mm}$$

$$U_{\max} = \frac{5}{384} \cdot \frac{Q_k \cdot l}{E \cdot I_z} = \frac{5}{384} \cdot \frac{0,400 \text{ N/mm} \cdot 684^4}{210000 \text{ N/mm}^2 \cdot 1985 \text{ mm}^4} = 2,7 \text{ mm}$$

Udbøjningen ved snelast er mindre, så der er ingen fare for at u-profilet bøjer ned og ødelægges absorberen.

En udbøjning på 2,7 kan accepteres.

Nu beregnes et U-profil i aluminium, som understøtning for acrylpladen. Understøtninger som for stålprofilet.



Det statiske moment om underkant:

$$S_A = \left[ 2 \cdot 25 \cdot \left( \frac{25}{2} \right) \right] \cdot 2 + 21 \cdot 2 \cdot 24 = 2258 \text{ mm}^3$$

$$\text{Areal } A = (2 \cdot 25) \cdot 2 + 21 \cdot 2 = 142 \text{ mm}^2$$

$$y = \frac{(S_A)}{A} = \frac{2258}{142} = 16 \text{ mm}$$

Inertimoment:

$$I_z = (1/12 \cdot 2 \cdot 25^3 + 2 \cdot 25 \cdot 3,5^2) \cdot 2 + 1/12 \cdot 14 \cdot 2^3 + 2688 \cdot 8^2$$

$$I_z = (2604 + 613) \cdot 2 + 14 + 2688 = 9136 \text{ mm}^4$$

$$\text{Momentet } M = 1/8 \cdot 0,520 \text{ N/mm} \cdot (684)^4 = 30411 \text{ mm}^4$$

$$\text{Spændingen } \rho = \frac{M}{(I_z)} \cdot y = \frac{30411}{9136} \cdot 16 = 53 \text{ N/mm}^2$$

$$\text{Den maksimale tilladelige spænding } f_{0,2d} = \frac{160 \text{ N/mm}^2}{1,28} = 125 \text{ N/mm}^2$$

ok profilet holder



Udbøjning U

$$U_{\max} = \frac{5}{384} \cdot \frac{(Q_k \cdot l^4)}{(E \cdot I_z)} = \frac{5}{384} \cdot \frac{0,400 \cdot 684^4}{70.000 \cdot 9136} = 1,8 \text{ mm}$$

OK, Acceptabel udbøjning

Pris 38,5 kr/kg · 0,38 kg/m ~ 15 kr/m profil.

## Appendix C

Resultater af effektivitetsmålinger for BATEC-tagsolfanger							
Solfangerhældning		: 55,7°					
Væske		: vand					
Det transparente areal er		: 12,25 m <sup>2</sup>					
V m/s	E W/m <sub>2</sub>	M kg/s	T <sub>i</sub> °C	T <sub>l</sub> °C	T <sub>i</sub> -T <sub>l</sub> °C	T <sub>u</sub> -T <sub>i</sub> °C	n %
~0,5	947	0,168	17,0	25,9	-9,39	11,83	71,6
	891	0,168	17,1	25,6	-9,39	11,53	74,2
	894	0,168	17,1	24,9	-10,48	11,58	74,3
	926	0,168	17,1	25,8	-9,78	11,73	72,6
	950	0,168	17,1	25,8	-10,70	11,97	72,2
~0,7	940	0,170	35,0	24,4	10,89	10,82	66,7
	938	0,170	35,1	23,6	10,86	10,89	67,3
	930	0,170	35,0	24,8	9,97	10,75	67,0
	919	0,170	34,9	23,0	10,44	10,56	66,7
	908	0,170	34,9	23,5	10,57	10,42	66,6
~0,5-1,0	862	0,166	60,7	25,1	34,22	7,60	50,0
	923	0,166	60,4	24,6	35,22	7,97	49,0
	973	0,166	60,4	25,9	34,91	8,89	51,9
	969	0,166	60,6	25,3	34,45	8,94	52,4
	908	0,166	60,4	26,4	33,74	8,51	53,2
~1,0	943	0,161	85,5	24,7	63,91	6,31	37,0
	939	0,161	85,0	23,3	64,39	6,26	36,9
	945	0,161	86,1	23,2	63,31	6,39	37,4
	951	0,161	86,0	24,6	63,49	6,68	38,9
	949	0,161	86,0	24,8	63,69	6,12	38,9

V	Vindhastigheden
E	Bestrålingsstyrken
M	Flow
T <sub>i</sub>	Indløbstemperaturen
T <sub>l</sub>	Lufttemperaturen
T <sub>u</sub>	Udløbstemperaturen
n	Effektiviteten

Resultater af effektivitetsmålinger for LfV-tagsolfanger Solfangerhældning : 55,7° Væske : vand Det transparente areal er : 11,66 m <sup>2</sup>						
V m/s	E W/m <sup>2</sup>	M kg/s	T <sub>i</sub> °C	T <sub>l</sub> °C	T <sub>u</sub> -T <sub>i</sub> °C	η %
~ 1,5	992	0,1633	16,3	21,1	12,65	74,7
	996	0,1633	16,3	21,4	12,82	75,3
	994	0,1633	16,3	21,4	12,87	75,9
	996	0,1633	16,3	21,0	12,84	75,5
	992	0,1633	16,4	21,0	12,77	75,4
~ 1,5-2,0	932	0,1746	35,4	25,8	10,02	67,2
	934	0,1746	35,2	25,6	10,07	67,4
	941	0,1746	35,3	26,3	10,25	68,2
	941	0,1746	35,1	25,9	10,15	68,2
	938	0,1746	34,5	25,8	10,11	67,4
~ 0,2-1,0	934	0,1632	62,6	21,1	8,54	53,6
	939	0,1632	62,6	20,3	8,66	54,0
	934	0,1632	62,5	21,8	8,87	55,7
	1004	0,1632	62,6	23,9	9,33	54,5
~ 0,5-1,5	924	0,1490	85,5	24,5	6,60	38,4
	922	0,1490	85,6	24,9	6,76	39,3
	926	0,1490	85,6	24,5	6,64	38,5
	926	0,1490	85,3	24,6	6,30	36,5
	918	0,1490	85,3	24,8	6,34	37,1

V Vindhastigheden  
 E Bestrålingsstyrken  
 M Flow  
 T<sub>i</sub> Indløbstemperaturen  
 T<sub>l</sub> Lufttemperaturen  
 T<sub>u</sub> Udløbstemperaturen  
 η Effektiviteten

Resultater af effektivitetsmålinger for LfV-tagsolfanger ved forskellige indfaldsvinkler							
Solfangerhældning		: 55,7°					
Væske		: vand					
Det transparente areal er		: 11,66 m <sup>2</sup>					
V m/s	E W/m <sup>2</sup>	M kg/s	T <sub>i</sub> °C	T <sub>l</sub> °C	T <sub>u</sub> -T <sub>i</sub> °C	n %	a °
~ 1,5 m/s	992	0,1633	16,3	21,1	12,65	74,7	0
	996	0,1633	16,3	21,4	12,82	75,3	
	994	0,1633	16,3	21,4	12,87	75,9	
	996	0,1633	16,3	21,0	12,84	75,5	
	992	0,1633	16,4	21,0	12,77	75,4	
	977	0,1633	16,2	21,2	12,65	75,9	15
	980	0,1633	16,3	21,3	12,60	75,3	
	938	0,1633	16,3	21,1	12,13	75,8	
	906	0,1634	16,3	21,0	11,63	75,2	
	867	0,1634	16,2	20,7	11,24	76,0	
	840	0,1634	16,3	20,1	10,67	74,5	30
	801	0,1634	16,3	20,9	10,17	74,3	
	762	0,1634	16,3	20,5	9,67	74,3	
	713	0,1634	16,3	20,3	9,08	74,7	
	664	0,1634	16,3	20,8	8,43	74,5	45
	619	0,1634	16,2	20,6	7,74	73,3	
	551	0,1634	16,3	20,4	6,90	73,4	
	506	0,1634	16,2	20,1	6,20	71,9	
	449	0,1634	16,3	19,8	5,46	71,3	60
	393	0,1634	16,2	20,0	4,66	69,5	
	338	0,1634	16,3	20,2	3,97	68,8	

V Vindhastigheden  
 E Bestrålingsstyrken  
 M Flow  
 T<sub>i</sub> Indløbstemperaturen  
 T<sub>l</sub> Lufttemperaturen  
 T<sub>u</sub> Udløbstemperaturen  
 n Effektiviteten  
 a Indfaldsvinklen

